

Заернов В. П.

# Метрология

Смисов м. р.

1) Портавский Ф. Ф., Яковлев А. С.

" Метрология, стандартизация и тех. учр "

М. Высшая школа 2001

2) Лидица И. М.

" Основы стандартизации, метрологии, сертификации "

М. Респект 1999

3) Шилин А. Н., Сластикин С. В.,

Юрьев С. " Основы теории измерений "

Вопросы 1998

4) Куликовская К. Л., Кулер В. Д.

" Измерения и средства измерений "

М. Энергоатомиздат 1986

5) " Электрические измерения: учебное

пособие для вузов под редакцией

В. М. Маммова 1985

6) Новиков П. В., Зорин И. А.

" Основы измерений и средств измерений "

М. Энергоатомиздат 1991

метрология  
средства измерений  
и стандарты

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

метрология

7 Шляпкин В М

«История Угрюмова при устроении» 1882

И. Васильев Школы

8 Раннев П.Р. И. Ярослав А.Р.

«Методы и средства измерения углубления в шпоре»

И. Америнский, 2004

9 Динько Ю.В. «Методы, аппараты и приборы», Учебник для вузов. Изд. «Писер» 2004.

Метрология наука об измерениях,

о методах и средствах достижения единства измерений и о способах достижения требуемой точности измерений

Основные понятия и определения

Физические величины и физические величины

Измерения - это процесс получения информации, позволяющей в графическом

способом измерять величины или значения, возникающие в процессе измерения. операции и представляются в форме

Физическая величина - это свойство объекта, описываемое в определенном отношении и индивидуальное в определенном отношении друг к другу у них

Физическая величина

Физическая величина

Формула измерения - это

Физическая величина, значение которой = 1.

$$Q = a [Q] - \text{формула измерения}$$

Q - измеряемая физическая величина

a - единица измерения данной физической величины

a - некоторое число, которое измеряется,

во сколько раз данная величина отличается от...

Физическая величина → производится

основные

40  
не  
стали  
ими

40

Суть измерения количества

Основная гр. в. - все зависит от группы  
 единиц величин и единиц их выражения

Крайев. - выражаются через  
 единицы, зависят от них, выделяются

в эту группу

$$l = a_1 [L]$$

$$T = a_2 [T]$$

$$[L] = M$$

$$[T] = c$$

$$v = \frac{l}{T} = \frac{a_1 [L]}{a_2 [T]}$$

$$a_1 = a_2 = 1$$

$$[v] = \frac{[L]}{[T]} = \frac{M}{c}$$

длина

единиц

Совокупность основных и крайев.

ед. их гр. в образуют систему  
 единиц.

ед.: 7 единиц: c, m, s, A, ...

L	M	T	I	Θ	N	γ
m	kg	s	A	K	mol	cd

+ 2 дополнительные: температурная гр. и световая гр.

$$\dim Q = [Q] = L^{b_1} M^{b_2} T^{b_3} I^{b_4} \Theta^{b_5} N^{b_6} \gamma^{b_7}$$

$b_1, \dots, b_7$  - степени у основных единиц величин

$$E_k = \frac{m v^2}{2} = \frac{m L^2}{2 T^2}$$

$$\dim E_k = [E_k] = \frac{L^2 M}{T^2} = \frac{m^2 \cdot c^{-2}}{2} = H \cdot m$$

Средства измерения и их основные характеристики.

Средства измерения это технические средства, предназначенные для измерения соответств. физ. величин и их измерение по сравнению с эталоном.

$\approx$   
 1,5  
 ☆

**Мера** — это способ  
 средств измерения, позволяющие судить  
 о возможности ее использования для  
 измерения данных опис. величин  
 в заданной ситуации с требуемой  
 точностью.

**4 группы:**

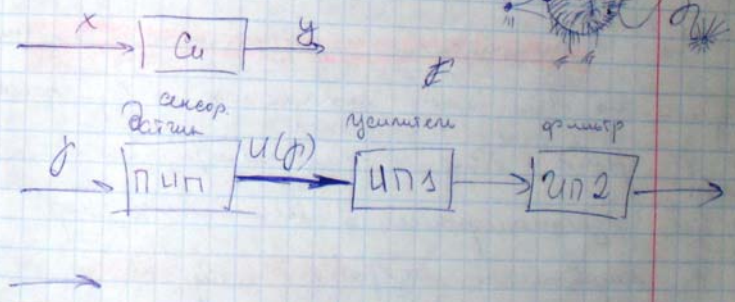
- 1) Мера
- 2) Измерительный преобразователь
- 3) Измерительный прибор
- 4) Измер. система (изм.-измерит. сист.)

**Мера** — это средство измерения, пред-  
 назначенное для воспроизведения единицы  
 измерения данных опис. величин,  
 а также других (кратных) ее значений.  
 Мера бывает основной и множественной.

**Фундаментальная единица** воспроизводит  
 значение опис. величин или ее  
 кратное и кратное значение

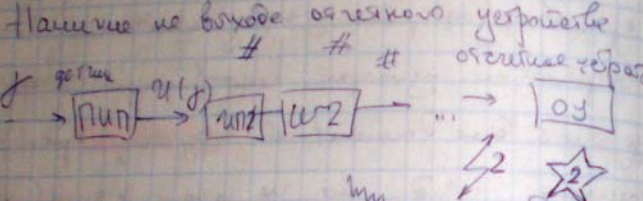
**Измерительная мера** — это мера, пред-  
 назначенная для измерения данных опис.  
 величин в некоторой ситуации.

**Измерительный преобразователь** — это  
 средство измерения, предназначенное для  
 выполнения измерит. преобразований в форме,  
 удобной для дальнейшего мерения, преобразов.,  
 хранения и т.д., но не предназначенный  
 для измерения опис. величин непосредственно.



По своему назначению соединительные изм. преобр. —  
 являются образцами измерительных средств.

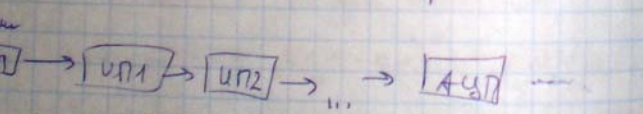
3) Цифровой прибор — это средство измерения, предназначенное для обработки информации в форме удобной для восприятия наблюдателем.



4) Цифр. система — это совокупность аппаратуры и программ, обеспечивающих процесс измерения.

Цифрово-цифровая система — это совокупность аппаратуры и программ.

средств, обеспечивающих выполнение функций измерения и их кодирования.



Характеристики средств измерения

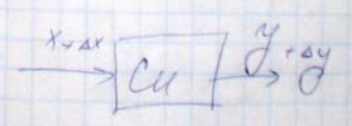
Статистические методы работы измерит.

1) Точность — характеризует степень приближения измеренного значения к его истинному значению.

Полнота — макс. точность, или погрешность.

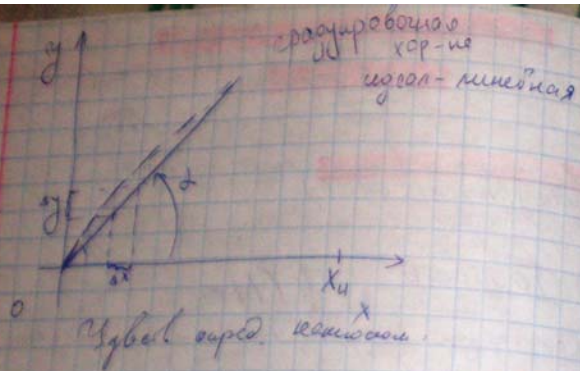
Точность определяется величиной совокупности погрешностей, присущих данному измерению.

2) Удобность — характеризует удобство анализа.

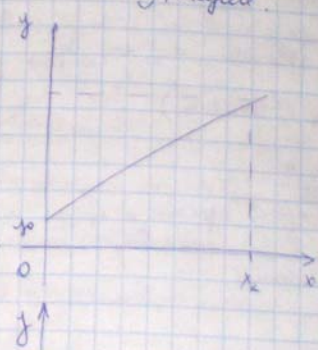


$S_a$  (абсолютная) =  $\frac{\Delta y}{\Delta x}$   
 $S_o$  (относительная) =  $\frac{\Delta y}{y \Delta x}$

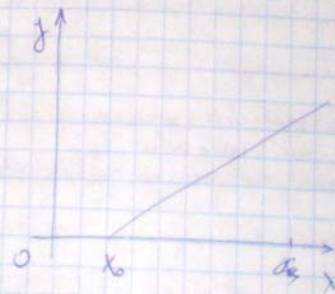
Аналоговый сигнал — непрерывный процесс, квантование — дискретизация, кодирование — преобразование в двоичный вид, декодирование — обратное преобразование.



Децимы.



при малом  
увеличении  
= ( )  
= ( )



$x_0$  - порог  
увеличения



Порогом увеличения сигнала является значение входного сигнала, при котором имеет место заметное изменение  $y_{0,1}$  и выхода.

Асимптотически характеристика характеризует линейность в-ве с увеличением  $x$  и  $y$ .

Полная динамическая хар-ка

Частная динамическая хар-ка

полностью описывает в-ве системы

не полностью описывает

Полюсов: (Полюс или хор-ис)

1) Передаточная f

2) Переходная хор-ис (реакция на единичный скачок)

3) Амплитудная хор-ис (колебания)

Частотные динамические хор-ис

1) Время установившегося прибора (время и время на много вращений)

2) Время равнопроточного измерения

- Оценка измерений

Надежность - способность сохранять прибором метрологические хор-ис в пределах метрологической приемлемости на время и вращение измерений

Характеристики отклонения

- Выход из строя

- Повреждение хор-ис и их прибор

- Полехоустойчивость

- Полехозащитность

- Масса

- Габариты

Обеспечение единичности

измерений

Единообразие измерений - это такое их состояние, при котором результаты

измерения выполняются в установленных единицах, а погрешность измерений удовлетворяет требованиям

Единообразие средств измерений - это такое состояние, при котором результаты измерений представляются в установленных единицах с заданной погрешностью.

Директива по усовершенствованию качества РФ по Стандартизации (Госстандарт)

Госстандартом обеспечивается усовершенствованная система измерений (ГСИ).

В рамках ГСИ-системы

Все средства измерений в таб. их проходят метрологическую аттестацию - обеспечение всех источников погрешностей

Проверка или калибровка - все приборы проходят

Проверка

(Климентьев  
или ВНИИ  
Кропоткин  
участок метрологии - ГСИ)

11

11



умеренно полагается с помощью формул, соотношений, путем подстановки в них результатов промежуточных измерений

Пример 2

Связанные измерения - это определение с помощью 2 или нескольких однородных физических величин путем решения системы уравнений с подстановкой результатов промежуточных измерений.

Совместные измерения - это совместные измерения 2 или несколькими различными величинами с целью установления взаимосвязи между ними, также с помощью системы уравнений с подстановкой результатов

$$R_t = R_0 \left( 1 + \alpha t + \beta t^2 \right)$$

$t_1 \rightarrow R_{t_1}$	$R_{t_1} = R_0 (1 + \alpha t_1 + \beta t_1^2)$
$t_2 \rightarrow R_{t_2}$	$R_{t_2} = R_0 (1 + \alpha t_2 + \beta t_2^2)$
$t_3 \rightarrow R_{t_3}$	$R_{t_3} = R_0 (1 + \alpha t_3 + \beta t_3^2)$

Общая форма:

$$\begin{cases} F_1(y_1, y_2, \dots, y_n; x_1^1, x_1^2, \dots, x_m^1) = 0 \\ F_2(y_1, y_2, \dots, y_n; x_1^2, x_1^3, \dots, x_m^2) = 0 \\ \dots \\ F_n(y_1, y_2, \dots, y_n; x_1^n, x_1^{n+1}, \dots, x_m^n) = 0 \end{cases}$$

### Методы измерения

В основе измерений физ. величин всегда лежат измерения физических процессов. Совокупность физ. процессов (обычно, первоначально измеряемые физические величины), позволяющая измерение каждой физической величины, называется принципом измерения.

### Принцип измерения

Совокупность физических измерений, устроенных и соединенных так, чтобы они образуют метод измерения.

### Физические методы

- 1) Метод непосредственной оценки результатов измерения
- 2) Метод сравнения с мерой

1 - непосредств измерение других величин  
с применением средств измерения  
малая точность

2 - установив предел измер для измерения  
вспомогательных

→ 5 видов: (сравнение с мерой)

а) метод противопоставления

б) дифференциальный

в) нулевой

г) замещения

д) метод совпадения

а) Метод противопоставления

6 раз-та бездел для измер других величин  
а мера вводится совместно между  
ними (весы с 2 чашками)

б) дифференциальный

Если разность между исходной величиной и  
мерой известна

определяет и разность

(предел точности весы с 2 чашками)

2) нулевой метод

не требует введения величин и мер, его разность,  
но с его помощью устанавливается

Нулевой - нулевые сопротивления, амперметр и другие  
силы и мощности методов

в) Замещения

$$I_1 = I_2 = (2 - I_3)$$

Замещают исходный элемент величинами  
меры  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{K_0}}$

б) метод совпадения

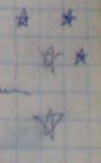
Контракты не используются симметричные  
коэффициенты симметрии. Разность  
измерения по основному методу совпадения  
миссия или по амперметру

Последов измерения - сравнительные

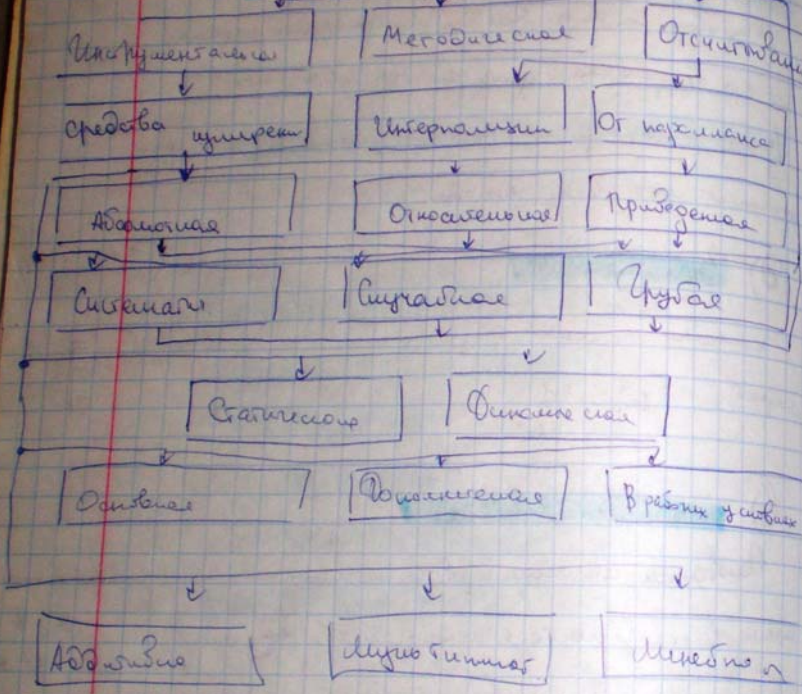
Нормируется также у итаи измерения

Попределенность измерения

Характеризует качество средств измерения



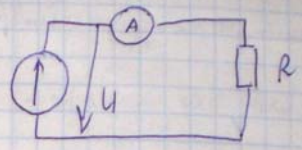
Коррекция потерь



Инструментальное - (прямой метод, среднее)

измеряет, применяет прибор  
 и требует аттестации в методических и государственных  
Методическое измерение - измерение  
 метод измерений

Метод измерения



Коррекция отклонения -  
 Возникает вследствие дисбаланса системы  
Данная поправка - когда смотрим на  
 искомую под углом

$$\Delta_{BC} - \Delta = X_{ист} - X = X_0 - X$$

$$\text{или } \delta = \frac{\Delta}{X_{ист}} = \frac{X}{X_0}$$

прибавочная поправка

$$\Delta_{пр} = \frac{\Delta}{X_N} = \frac{\Delta}{X_K} \cdot X_N - \text{корректирующее значение}$$

Систематическая погрешность - это погрешность, характер которой является постоянным во времени, предсказуемым, и вполне воспроизводимым

Случайная погрешность - характер которой является таковым, ее можно наблюдать непредсказуемо

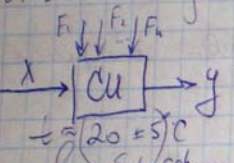
Случайная погрешность - ранее отклонение  
 результирующее от предсказания

Сем в руг-х удерживать процесс,  
 где иначе они используются у расщепления

**Сила и дисперсия** - относятся к скорости  
 удерживать при руг-ор линии

Скорость - неравнот  $\alpha$  t

**Основная погрешность**



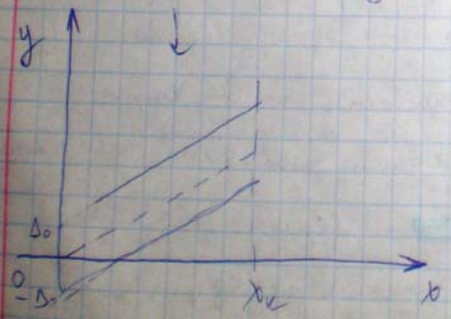
Неопределенность измерения

$$\sigma_u = \sigma_{\text{полн}} \pm 5\%$$

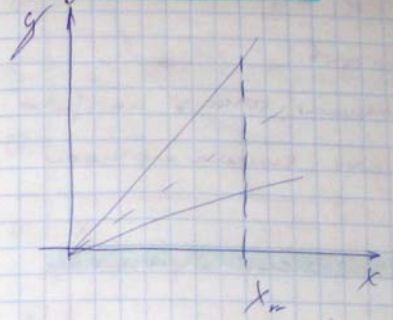
$$k_u \leq 0,1\%$$

**Основы погр.** удерживать значение при  
 выходе из пределов отбора условий

**Подобные с** ~~линейными~~



**Линейная зависимость**

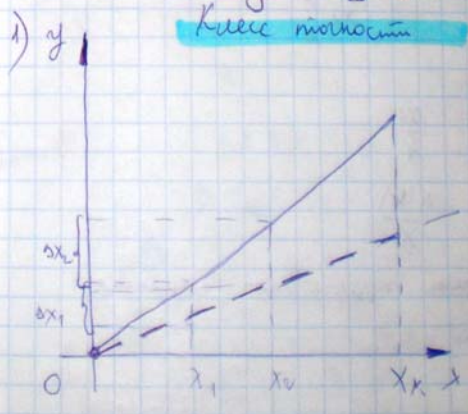


Прямая зависимость при  $\alpha$   $\sigma_{\text{полн}}$   
 кар-м

**Корректировка погрешностей**

**Формы измерения**

**Класс точности**



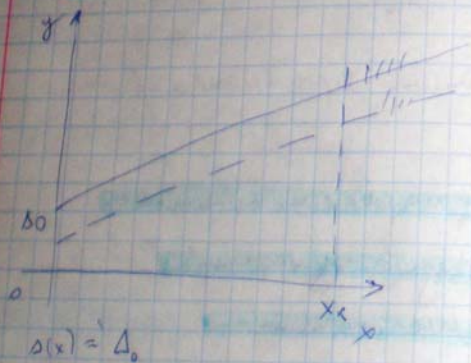
$$x_2 = 2x_1 \rightarrow \Delta x_2 = 2\Delta x_1$$

$$f(x) = \frac{\Delta(x)}{x} = k = f_s$$

$f_s$  - нар. эффект

Для оценки влияния, точка контроля  
сред. значения нар. кривая не имеет  
единств.  $f$

2) **Доменная аддитивная зависимость**



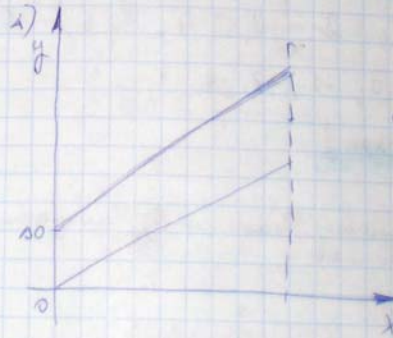
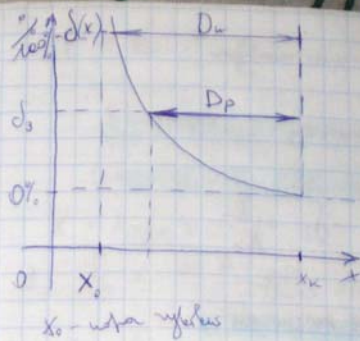
$$\Delta(x) = \Delta_0$$

$$f(x) = \frac{\Delta(x)}{x} = \frac{\Delta_0}{x}$$

$$f_0 = \frac{\Delta_0}{x_0} = \frac{\Delta(x)}{x_k}$$

$f_0$  - влияние аддитивной зависимости

$f_k$  - влияние нар. кривой



$$\Delta(x) = \Delta_0 + r_f \cdot x$$

$$f(x) = \frac{\Delta(x)}{x} =$$

$$= \frac{\Delta_0}{x} + f_s$$

$$f_{np} = \frac{\Delta(x)}{x_k} =$$

$$= \frac{\Delta_0}{x_k} + f_s \frac{x}{x_k}$$

$$= f_0 + f_s \frac{x}{x_k}$$

$f_{np}(x) \neq f$



$$f_u = f_0$$

$$f_k = f_0 \cdot f_s$$

обс

Поррентооб =

$\delta_u, \delta_v$  - абсолютные классические погрешности

$\frac{\delta_x}{x}$  - класс точности

$$\delta_{\text{упр}} = \pm \frac{\Delta_0}{x} \pm \delta_s \pm \frac{x}{\Delta_0}$$

Определение класса точности

(1,0, 1,5, 2, 2,5, 4, 5, 6) · 10<sup>n</sup>  
где n = ±1, 0, -1, -2, -3, -4, ...

в процентах!

1,5 - класс точности, доминирует минимальная погрешность

1) 1,5 →  $\delta_s = \pm 1,5\%$

2) 1,0 - класс точности - абсолютные с погр

1,0 →  $\delta_0 = \pm 1\%$

3) 0,2 / 0,1 → 2 разрядов погрешности

$\delta_x = \pm 0,2\%$ ;  $\delta_x = \pm 0,1\%$

4)  $\gamma$  - класс точности прибора погрешности

точно указано и значение - классический

ошибка

$$\rho = \delta_0 = \frac{\Delta_0}{x_k}$$

Определение погрешности по измеренным данным

$$X = X_{\text{изм}} \pm \Delta(X)$$

1.  $\delta_s = \pm \frac{\Delta(X)}{x} \cdot 100\% \Rightarrow \Delta(X) = \pm \frac{\delta_s \cdot x}{100\%}$

$\delta_0 = \pm \frac{\Delta_0}{x_k} \cdot 100\%$ ;  $\Delta(X) = \pm \frac{\delta_0 \cdot x_k}{100\%}$

$$\delta(X) = \pm \frac{\Delta_0}{x}$$

3.  $\delta_{\text{упр}}$ ;  $\delta_{\text{упр}}(x) = \delta_0 + \delta_n \left( \frac{x_k - 1}{x} \right)$

$$\Delta(X) = \frac{\delta_{\text{упр}}(x) \cdot x}{100}$$

Задача: класс точности ток, величина которого

$$I = 4A$$

Измерено 2 амперметром

у первого:  $\delta_0^1 = 0,5 \rightarrow I_k^1 = 20A$   
у второго:  $\delta_0^2 = 1,5 \rightarrow I_k^2 = 5A$

Определить допуск и абсолютную погрешность измерения и относительную погрешность измерения

$$\delta_0 = \pm \frac{\Delta(X)}{X_0} \cdot 100\%$$

$$\Delta(I_1) = \pm \frac{\delta_0 \cdot X_0}{100\%} = \frac{0,5 \cdot 20}{100} = \pm 0,1$$

$$\Delta(I_2) = \pm \frac{1,5 \cdot 5}{100} = \pm 0,075$$

$$\delta_2(I) = \pm \frac{\Delta(I_2)}{I} = \pm \frac{0,075}{4A} = 100\% \cdot \pm 2,5\%$$

$$\delta_2(I) = \frac{\Delta(I_2)}{I} = \frac{0,075}{4A} \cdot 100\% = \pm 1,9\%$$

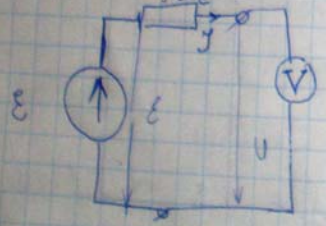
### Задача 2

При измерении  $\varepsilon$  в цепи измерительная вольтметр

$$\delta_{\text{пр}} = 0,2$$

$$R_{\text{вн}} = 1000 \Omega$$

$$R_0 = 100 \Omega \quad R_{\text{вн}} \varepsilon$$



Определить абсолютную и относительную погрешность

$$U_0 = \varepsilon \cdot \frac{R}{R+2} = \frac{\varepsilon}{R_0 + R_0} \cdot R_0$$

$$\delta = \pm \frac{(\Delta U)}{U_0} \cdot 100\% = \pm \left( \frac{U_0}{\varepsilon} - 1 \right) \cdot 100\%$$

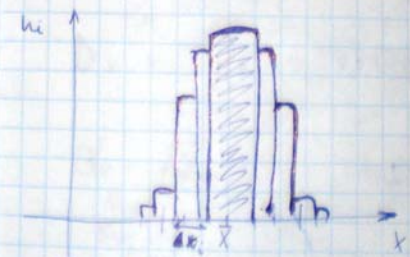
$$= \pm \left( \frac{R_0}{R_0 + R_0} - 1 \right) \cdot 100\% = \pm \left( \frac{R_0}{R_0 + R_0} \right) \cdot 100\%$$

$$= \pm \frac{-10}{1010} \cdot 100 \approx -1\%$$

### Лекция

### Обработка результатов измерений Случайная погрешность

нужны все данные измерения и их обработка и измерений



$k_i$  - абсолютные значения погрешности измерений в измерении

$$k_i = \frac{k_i}{n} \text{ - относительная}$$



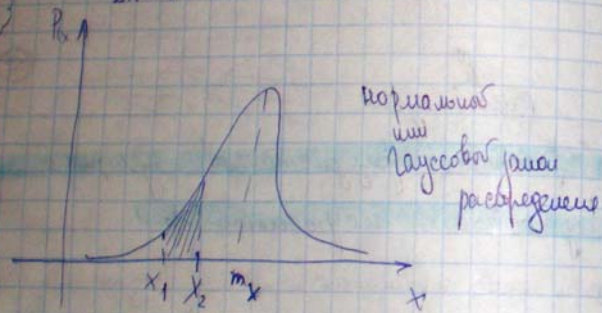
числа подают результаты измерения  $\bar{x}$  и  $\sigma_x$   
 итерация

$$P(\Delta x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{h_i}{n} = \text{вероятность}$$

Кривая исторграммы

плотность вероятности  $p(x) = \frac{P(x_i)}{\Delta x_i}$

$$= \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(\Delta x)}{\Delta x} = \frac{dP_i}{dx} = \frac{dP_i}{dx}$$



$$P(x) = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = 1$$

проводим серию  $n$  и измеряем  
 среднее арифметическое  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$$\bar{X} = m^* x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(x_i)$$

$D_x$  (дисперсия)

\* - дисперсия случайной величины

$$D_x^* = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 =$$

$$= \sum (x_i - \bar{x})^2 P(x_i)$$

$$\sigma_x^* = \sqrt{D_x^*}$$

$$\sigma_x^* = \sqrt{D_x^*} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\sigma_x^* = \frac{\sigma_x^*}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

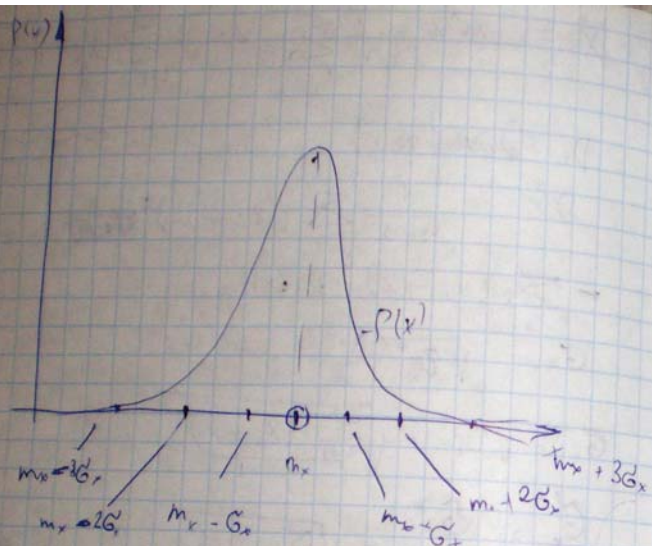
Для непрерывного процесса  
 $m_x$  - математическое ожидание

$$m_x = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot p(x) dx \quad \text{МО}$$

$$D_x = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 P(x) dx; \quad \text{дисперсия}$$

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} \quad \text{среднеквадрат. отклонение}$$





Вероятность нахождения в интервале

$$P(x) = \int_{m_x - 2\sigma_x}^{m_x + 2\sigma_x} p(x) dx = 0,983$$

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x}{2\sigma_x^2}}$$

$$P_{\text{от } 2\sigma} = \int_{m_x - 2\sigma_x}^{m_x + 2\sigma_x} p(x) dx = 0,955$$

$$P_0 = \int_{m_x - 3\sigma_x}^{m_x + 3\sigma_x} p(x) dx = 0,997$$

Лекция

Обработка результатов измерений

Каждая измер = с  $\frac{1}{\sqrt{2}}$   $\sigma$

$$X = X_{\text{изм}} \pm \Delta X$$

$$1,0 / 0,5$$

$$\Delta U_{\text{изм}} = (0 \div 400) \text{ В}$$

Оценки погрешности измерений  $t = 20^\circ\text{C}$   
 $t = 35^\circ\text{C}$   
 $\sigma_{\text{пол}} \text{ при } 0,5 \text{ В} / \text{дел} = 0,05 \text{ В}$   
 $\sigma_{\text{пол}} \text{ при } 0,5 \text{ В} / \text{дел} = 0,05 \text{ В}$   
 $\sigma_{\text{пол}} \text{ при } 0,5 \text{ В} / \text{дел} = 0,05 \text{ В}$   
 $\sigma_{\text{пол}} \text{ при } 0,5 \text{ В} / \text{дел} = 0,05 \text{ В}$

$$1,0 / 0,5 = \Delta x / \sigma_x$$

$$\Delta(u) = \Delta a + \Delta g$$

$$\Delta a = \Delta_0 + \Delta_M(V) = \left( \frac{\Delta_0 \cdot U_k}{100} + \frac{\Delta_{\text{дел}} \cdot U}{100} \right) =$$

$$= \left( \frac{0,5 \cdot 400}{100} + 0,5 \cdot \frac{320}{100} \right) = (2,0 + 1,6) = 3,6 \text{ В}$$

$$\Delta_0 = \Delta_U = 0,5\% ; \Delta_S = 1 - 0,9 = 0,1\%$$

$$\Delta g = \frac{0,5 \cdot 3,1 \cdot (35 - 20)}{10} = 1,525$$

$$\approx 2,3 \text{ В}$$

$$\Delta U = \pm (3,6 + 2,3) \text{ В} = \pm 5,9 \text{ В}$$

$$U = (2200 \pm 5,4) \text{ B}$$

$$f_{\text{ном}} = \frac{\Delta U}{U} = \frac{5,4}{220,0} = 0,024$$

$$m_x^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i$$

$$\sigma_x^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - m_x^*)^2}{n-1}}$$

$$\sigma_x^+ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - m_x^+)^2}{n(n-1)}}$$

$$\delta x = \sigma_x^+ \cdot t(n, \alpha)$$

Вычислим среднеарифметическое

1	2	3	4	5	6	7	8	9
210	213	221	220	219	220	221	219	221

10  
220

$$U_{\text{ср}} = 219,3 \text{ B}$$

$$\sigma_0^* = 1,16 \text{ B}$$

$$2\sigma_0^* = 2,32 \text{ B}$$

$$U = (219,30 \pm 2,32) \text{ B (с доп. 0,95)}$$

$$\Delta(x) = \sqrt{\Delta_{\text{сум}}^2 + \Delta_{\text{сум}}^2}$$

Предположим ф-ю об измерении

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$Y = Y^* \pm \Delta Y$$

$$x_1 = x_{1 \text{ сгр}} \pm \Delta(x_1)$$

$$x_2 = x_{2 \text{ сгр}} \pm \Delta(x_2)$$

$$x_n = x_{n \text{ сгр}} \pm \Delta(x_n)$$

$$Y^* = F(x_{1 \text{ сгр}}, x_{2 \text{ сгр}}, \dots, x_{n \text{ сгр}})$$

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial x_i} \Delta(x_i)$$

$$1) a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = \sum_{i=1}^n a_i x_i$$

$$\Delta y = \sum |a_i \Delta(x_i)| = |a_1 \Delta(x_1)| +$$

$$|a_2 \Delta(x_2)|$$

$$y = 3x_1 + 5x_2 - 2x_3$$

$$\Delta y = 3\Delta(x_1) + 5\Delta(x_2) +$$

$$\Delta y = \frac{\Delta y}{\Delta y} = 100\% + 2\Delta(x_3)$$

$$2) Y = X_1^{a_1} \cdot X_2^{a_2} \cdot X_3^{a_3} \dots = \prod_{i=1}^m X_i^{a_i}$$

$$\Delta_y = \sum_{i=1}^m |a_i| \Delta x_i$$

$$Y = \frac{X_1^2 \cdot X_2^2}{X_3^3}$$

$$\Delta_y = 2\Delta x_1 + 2\Delta x_2 + 3\Delta x_3$$

$$\Delta_y = \frac{\Delta_y \cdot Y^*}{100}$$

Используя определение относительного изменения

и выражение по закону Ома

$$I = 0,5 \text{ A};$$

$$R = 200 \text{ Ohm};$$

$$\Delta I = 1,5\%$$

$$\Delta R = 3,0\%$$

$$P_n; \Delta P, \Delta(p)$$

и формулы сопротивления

$$P = I^2 R$$

$$P = 0,5^2 \cdot 200 \text{ Вт} = 5 \text{ Вт}$$

$$= 5 \text{ Вт}$$

$$\Delta P_n = 2 \cdot 1,5 + 1 \cdot 3,0 = 6\%$$

$$= 3 - 1 = 2\%$$

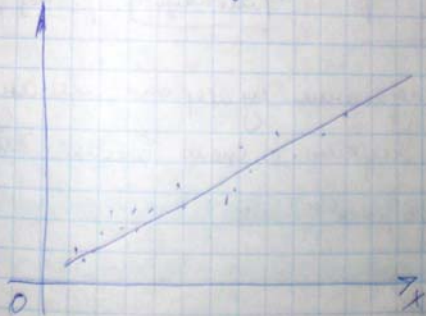
$$\Delta(p) = \frac{\Delta P \cdot P}{100} = \frac{4,5}{100} = 0,225\%$$

$$P = (5,0 \pm 0,2) \text{ Вт}$$

Представление эмпирических данных

$x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n$

$y_1 \quad y_2 \quad \dots \quad y_n$



$$y = ax + b$$

$$a = \frac{4 \sum_i x_i \sum_i y_i - n \sum_i x_i y_i}{\left(\sum_i x_i\right)^2 - n \sum_i x_i^2}$$

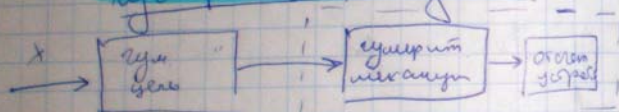
$$b = \frac{\sum_i x_i \sum_i x_i y_i - \sum_i y_i \sum_i x_i^2}{\left(\sum_i x_i\right)^2 - n \sum_i x_i^2}$$

### Аналоговая измерительная

преобразов. и измерительное устройство

Аналог - наименьшее по механич. воздействию устройство  
устр. - измеритель.

### Электро-механическая измерит. механизм



Важное требование измерит. механизмов - преобразовать энергию сигнала в мех. энергию открытого устройства

$$M_{вр} = \frac{dW}{d\alpha}$$

$M_{вр} = G \cdot \alpha$  ;  $G$  - жесткость пружины  
дисконт. момент;  $\alpha$  - угол поворота

$\frac{dW}{d\alpha} = G\alpha$  - Формирование упр. сигнала

Варианты упр. механизмов

- 1) механический
- 2) электрический

Равновесность измерит. механизмов (в системе упр. аналог)

- 1) малоинертная система
  - 2) электромагнитная система
  - 3) электродинамическая
  - 4) электростатическая
  - 5) индукционная
- ГДЕ МОЖ ПЕЧЕНЬ ???

$$M_{вр} = BS\omega I = \text{ток по токовому контуру}$$

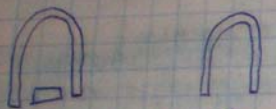
$$= G\alpha ; \alpha = \frac{BS\omega}{G} I = \kappa I$$

### Вспомогательные

- 1) Пассивные токовые и вращающиеся + кинематические и вычислительные механизмы
- 2) передатки - трансформатор - преобразователь параметров в ток по токовому контуру

не содержит перемычки  
облегчить применение

1) двухфазная, Вольта-амперная, тепловая,  
амперная



✓ - перемычка

2) двухфазная система

$$M_{кр} = \frac{I^2}{2} \frac{dL}{d\alpha}$$

$$\alpha = \frac{I^2}{2G} \frac{dL}{d\alpha} \quad \text{или}$$

### Особенности

- 1) Кривая
- 2) Демонстрация
- 3) работает при сильной перегрузке
- 4) работает и на изгибах - поперечный изгиб

### Кривая

- 1) по мере а разгр. сдвиги нулевые
- 2) сдвиги и величина нулевые

Общая формула  
1) Амперная, Вольта-амперная, тепловая, перемычка



2) двухфазная система  
2 по 1/2

$$M_{кр} = I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

$$\alpha = \frac{I_1 I_2}{G} \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

$$\alpha = \frac{I_1 I_2}{G} \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

I = сдвиг

$$M_{кр} = I_1 I_2 \cos \varphi \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

$\varphi$  - угол между осью и перемычкой

$$\alpha = \frac{I_1 I_2}{G} \cos \varphi \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

I пер

### Особенности:

- 1) Работает не только и перемычка
- 2) Присоединение поперечное
- 3) Абсолютно нулевые в Времен

### Кривая

- 1) Кривая энергия
- 2) Сильнее и более жесткая
- 3) Кривая энергия
- 4) Кривая и величина нулевые

применение

Анализатор качества электросети, частотометр и фазометр



с магнитной экраном

если в центре находятся между двумя катушками - ферромагнитный экран

4) Электроstatic. системы

Формулы

- 1) конденсатор
- 2) работа не зависит и зависит от U

$$M_{вр} = \frac{U^2}{2} \frac{dC}{d\alpha}$$

$$d = \frac{U^2}{2G} \frac{dC}{d\alpha}$$

3) частота высокая

Цели

- 1) точн. измер.
- 2) измер. величины
- 3) измерение величины внешнего поля



длина ст. ст. пол

5) Продольная система

$$M_{вр} = KU \sin \varphi$$

откуда

если измерять угол между стержнем и осью вращающегося механизма или между осью вращающегося механизма и стержнем

$$M_{вр} = K_0 U \sin \varphi$$

- Формулы
- 1) стержень
  - 2) "

Цели измерение



Основной. средство измерения

использовать метод и добавочное устройство + измер. трансформатора

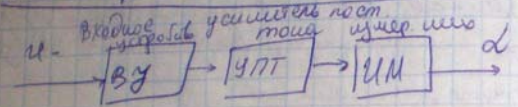
# Электронные измерительные приборы

Преимущества из средств измерения.

- 1) Повышается точность, чувствительность, расширяется диапазон измерения.

Повышается устойчивость к перегрузкам.

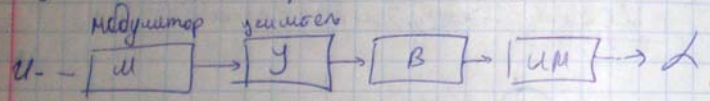
Совместно повышается измерение



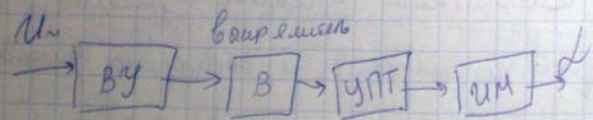
$$\alpha = (K_{ВУ} \cdot K_{УПТ} \cdot S_{ИМ}) U = K_g \cdot U$$

крутка [С] - сред  
уи инх В

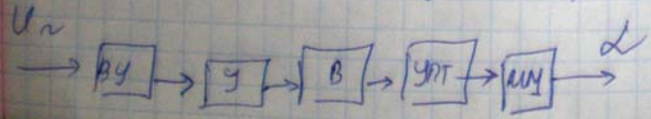
милливольтметр - если измерять малое



$$\alpha = (K_{И} K_{У} K_{В} S_{ИМ}) \cdot U$$

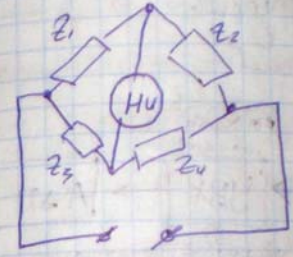


$$\alpha = (K_{ВУ} + K_{В} K_{УПТ} S_{ИМ}) \cdot U$$



$$\alpha = (K_{ВУ} K_{У} K_{В} S_{ИМ}) U$$

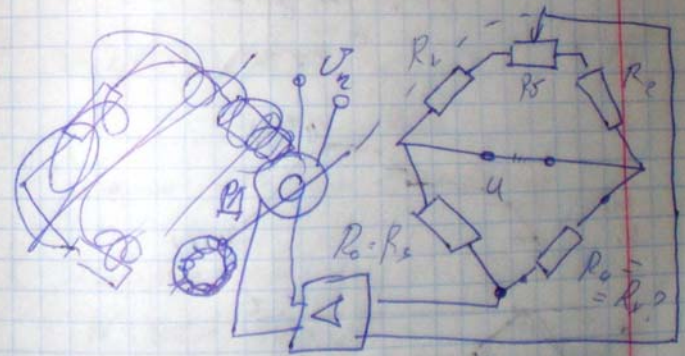
Земля - Оциллограф  
милли Гн



масса соединяется  
в одной диагонали напряжение  
 $U=0$   
и между суп. точками  
 $Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$

$Z = R + jX$   
если суп. меньше - индуктив  
но больше - емк

Автоматическое измерение постоянного тока



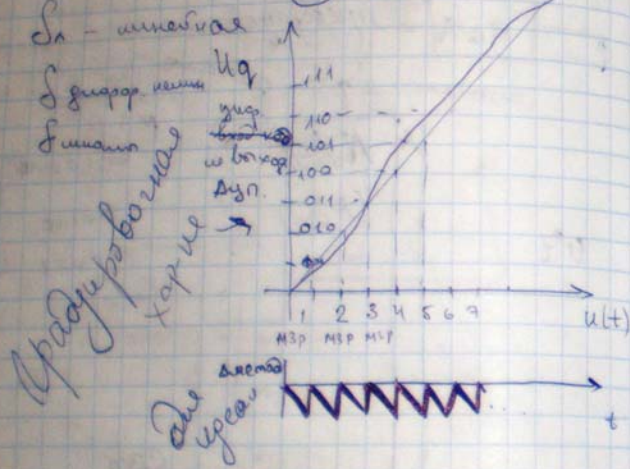
используются  
генераторы  
суперкомпьютеры



Хар-и

- 1) Точность
- 2) Разрешающая способность
- 3) Боестраховка

1) Точность хар. совокупностью измерений



градуировочная хар-и  
 две уровня

1) Максимальное отклонение идеальной хар. хар. от идеальной - линейная хар.

макс. отклонение

$$\Delta_n \leq 0,5 U_{MSP}$$

$$\Delta_{дур} \leq \pm 1 MSP$$

$$\Delta_{ли} \leq \pm 0,5 MSP$$

Селекция

- Разрешающая способность

абсолютная и относительная

$$U_{MSP} = \frac{U_{ли}}{2N-1} = Pa \quad (\text{абс. разр. способность})$$

$$P_{ли} = \frac{1}{2N-1}$$

- Боестраховка

целиком избежать от ошибок преобразования

методы АЦП

- 1) Метод послед. счета
- 2) Метод послед. приближения (порядково итеративное приближение)
- 3) Интеграл АЦП - метод с двойным интегрир.
- 4) Селекция АЦП - метод сдвига
- 5) АЦП перемещением преобр.
- 6) Комбинированные АЦП
- 7) Квантовые АЦП
- 8) АЦП с  $\delta$ - $\sigma$ -преобразованием

ЦАП - цифро-аналоговое преобразование

переходя наоборот из цифро. в аналоговый сигнал



1970г - СССР комиссия по состоянию артикуляции  
при советском министерстве ССР.

1968г - первая система балансоартикуляции

1993г - закон об артикуляции

История русского артикуляцион

через - Говен

1913г - классификация органов - русский фонетик

1993г - закон о языковых услугах

1988г - конвенция о состоянии органов  
и языке